

prof. nzw. dr hab. inż. Tadeusz Waściński
mgr Paweł Bartosiewicz
Politechnika Warszawska, Wydział Zarządzania

Wybór środków transportu wewnętrznego dla przedsiębiorstwa usługowego w aspekcie poprawy efektywności procesu magazynowego

Choice of internal means of transport
for a service company to improve
an efficiency of the warehouse process

Streszczenie: Autorzy w artykule poddali identyfikacji, analizie i ocenie przedsiębiorstwo usługowe świadczące usługi związane z wykonywaniem obsługa i napraw pojazdów, a na tej podstawie pokazali, jak dokonać wyboru środków transportu wewnętrznego stosując metody wielokryterialne. Podstawowymi narzędziami wykorzystywanymi w prowadzonych badaniach były: zmodyfikowana metoda AHP, metody rangowania wg cechy syntetycznej oraz metoda wielokryterialnej analizy porównawczej Bellingera, w dwóch wariantach. Otrzymane wyniki pokazują, że każde z tych narzędzi ma swoją specyfikę w praktycznym zastosowaniu.

Słowa kluczowe: metody wielokryterialnej analizy porównawczej, wybór środków transportu wewnętrznego

Abstract: In the article authors identified, analyzed and rated a maintenance and repair services company. On this basis is shown how to choose internal means of transport using multi-criteria methods. Essential tools used in the survey were: modified AHP method, ranking method based on synthetic feature, Bellinger method in two versions. The results showed that each used tool has its own characteristics in practical application.

Keywords: multi-criteria evaluation methods, choice of internal means of transport

Wstęp

Nowoczesne metody wspomaganie podejmowania decyzji coraz częściej znajdują zastosowanie w realizacji procesów logistycznych. Podczas prowadzonej analizy procesów zachodzących w tym przedsiębiorstwie zauważono, że pomimo wzrostu oferty przedsiębiorstwa i wzrostu wymagań klientów co do jakości oferowanych produktów, ewidentnie widoczne są braki w zakresie usprawniania procesów transportu wewnętrznego. Jeśli w analizowanym przez autorów magazynie większość operacji dokonywana byłaby manualnie, to znacznie wydłużyłoby, jeśli nie uniemożliwiłoby, wykonywanie pewnych czynności. Zwiększająca się liczba operacji magazynowych w związku z rozszerzeniem profilu działalności przedsiębiorstwa wymusza podjęcie działań naprawczych mających na celu wprowadzenie nowoczesnych środków transportu wewnętrznego. W oparciu o dostępne specyfi-

kacje techniczne wybrano sześć modeli wózków widłowych, których wybór różnicowany będzie przy wykorzystaniu przyjętych siedmiu parametrów. Procedurę wyboru przeprowadzono trzema różnymi sposobami, wykorzystując do tego celu następujące metody analizy wielokryterialnej¹:

- metoda Analytical Hierarchy Process (AHP);
- metody rangowania wg cechy syntetycznej oraz Bellingera, którą przeprowadzono w dwóch wariantach, w zależności od doboru granic między najbardziej, a najmniej pożądanym rozwiązaniem.

Parametry wózków w oparciu o które dokonano wyboru przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wózki widłowe i ich parametry

Model	Udźwig [kg]	Max. wysokość podnoszenia [mm]	Zdolność pokonywania wzniesień [%]	Promień skrętu [m]	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s]	Max. Prędkość jazdy [km/h]	Cena [zł]
Linde E20	2000	2800	14,5	1,72	0,5	12,5	12400
Still RX2015	1600	3230	12,8	1,85	0,55	16	17200
Hyundai 20DA-7E	2000	3327	26,3	2,05	0,6	19,5	15100
Toyota 8FGF15	1500	3000	28	1,99	0,665	18,5	18900
Hangcha CPCD18	1800	3000	30	2,015	0,58	19	13000
Desta D25	2500	3300	23	2,37	0,5	18	11000

Źródło: Opracowanie własne.

Wybór wózka widłowego przy wykorzystaniu metody AHP

Podjęcie prac projektowych nad wdrożeniem mechanizmów ułatwiających pracę personelowi magazynu wynikało głównie z chęci uzyskania korzyści i zaspokojenia potrzeb w zakresie realizacji procesów logistycznych w magazynie. Ponieważ zdecydowano się na wybór wózka widłowego postanowiono określić wymagania, jakie nowo zakupione urządzenie transportu wewnętrznego powinno spełniać. Metoda AHP może być pomocna w podejmowaniu decyzji wyboru i określaniu wymagań stawianym wózkom widłowym dla potrzeb magazynu.

Metoda AHP została opracowana przez Thomasa L. Saaty'ego w 1970 roku i od tego czasu jest ciągle modyfikowana. Opiera się na obliczeniach matematycznych i ułatwia podejmowanie złożonych decyzji przy ustalonej liczbie wariantów. Pozwala więc niejako podzielić problem wyboru na czynniki od siebie niezależne. Metoda ta opiera się na stwierdzeniu Saaty'ego, które legło u podstaw tej metody, że osądy człowieka mają charakter relatywny i zależą od podejścia oceniającego, pełnionej przez niego funkcji oraz wyznawanego przez niego systemu wartości.

¹ Bartosiewicz S., Oziębło M., (2016), *Wybór lokalizacji przedsiębiorstwa produkcyjnego*, [w:] Mazurek-Kucharska B., Dębski M., (red. nauk.), *Zarządzanie małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce. Innowacyjna strategia, narzędzia i wdrożenia*, Przedsiębiorczość i Zarządzanie, Wydawnictwo SAN, Łódź-Warszawa, tom XVII, zeszyt 7, część II, 15-31.

Przy wykorzystaniu tej metody w procesach decyzyjnych z zakresu wyboru maszyn i urządzeń podkreśla się rolę pracowników działów bezpośrednio pracujących z tym sprzętem. W związku z tym, że są oni najbliższym przedmiotowym zagadnieniem, potrafią najlepiej określić kryteria, jakimi powinno kierować się przy wyborze urządzeń, oraz oceniają, które kryteria wagowo są najbardziej istotne. Każde urządzenie, w tym omawiany wózek widłowy, charakteryzuje się różnymi specyfikacjami technicznymi. Celowe jest więc zaangażowanie w proces decyzyjny osób, które będą później eksploatowały wózki. Dzięki temu zostanie osiągnięty zarówno cel społeczny, ponieważ pracownicy poczują, że mają wpływ na procesy zachodzące w firmie, dzięki czemu budowana jest pozytywna relacja przedsiębiorstwo-pracownik, a dodatkowo ich wiedza przełoży się na podjęcie najbardziej spełniającej ich oczekiwania decyzji wyboru.

Podejmowanie decyzji wg metody AHP polega na:

- rozłożeniu problemu decyzyjnego i opisie kryteriów;
- ocenie, a więc porównaniu parami kryteriów i wariantów decyzyjnych za pomocą skali dominacji Saaty'ego;
- wyznaczeniu wzajemnych priorytetów kryteriów i wariantów decyzyjnych;
- uporządkowaniu ze względu na udział w spełnieniu wymagań.

Określenie kryteriów

Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów wózków widłowych, których parametry techniczne dostosowane są do wymagań określonych procesów manipulacyjnych. Biorąc pod uwagę udział w rynku należy wskazać, że najbardziej rozpoznawalni producenci tego rodzaju sprzętu to Linde, Still, Toyota, Hyundai, Hangcha oraz Desta. Podstawowe parametry techniczne wyróżniające poszczególne rodzaje wózków to ich udźwig (determinujący maksymalną masę przewożonych ładunków), maksymalną wysokość podnoszenia (określającą możliwości w zakresie manipulacji ładunkami w przestrzeni magazynu), zdolność pokonywania wzniesień (mający w przypadku magazynów płaskich małe znaczenie), promień skrętu (który jest bardzo istotny w magazynach z uwagi na ograniczoną przestrzeń dla ruchu wózka widłowego) oraz prędkość podnoszenia ładunków i jazdy wózka widłowego. Ostatnim parametrem mającym wpływ na decyzję o wyborze jest cena.

Określono następujące kryteria:

- KA – udźwig
- KB – maksymalna wysokość podnoszenia
- KC – zdolność pokonywania wzniesień
- KD – promień skrętu
- KE – prędkość podnoszenia ładunków
- KF – maksymalna prędkość jazdy
- KG – cena

Każdą porównywaną parę kryteriów zapisuje się w macierzy o wymiarach:

$$\mathbf{N \times N} \quad (1)$$

gdzie:

N - oznacza liczbę elementów na danym poziomie (w naszym przypadku jest to liczba 7).

Taka macierz charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- 1) Wyrazy a_{ii} leżące na przekątnej macierzy mają wartość 1, ponieważ porównaniu podlegają te same kryteria.
- 2) Wyrazy leżące nad przekątną a_{ij} – wyniki porównań dwóch kryteriów.
- 3) Wyrazy leżące poniżej przekątnej – odwrotności tych porównań.

Skala ocen kryteriów porównywanych metodą AHP została przedstawiona w tabeli 2. Porównanie wg skali ocen parami ważności parametrów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Skala ocen kryteriów

Wartość liczbowa	Skala ważności
1	Jednakowa ważność
3	Nieznacznie ważniejsze
5	Wyraźnie ważniejsze
7	Bardzo wyraźna ważność
9	Absolutnie ważniejsze
2, 4, 6, 8	Wielkości pośrednie

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 3. Porównanie parami ważności parametrów

Kryteria	KA	KB	KC	KD	KE	KF	KG	Suma
KA	1,00	3,00	5,00	5,00	7,00	7,00	0,50	28,50
KB	0,33	1,00	3,00	5,00	5,00	7,00	0,33	21,67
KC	0,20	0,33	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	2,82
KD	0,20	0,20	2,00	1,00	3,00	5,00	0,50	11,90
KE	0,14	0,20	3,00	0,33	1,00	0,50	0,20	5,38
KF	0,14	0,14	4,00	0,20	2,00	1,00	0,33	7,82
KG	2,00	3,00	5,00	2,00	5,00	3,00	1,00	21,00
Suma	4,02	7,88	23,00	14,03	23,33	23,75	3,07	

Źródło: Opracowanie własne. Poszczególne kryteria oznaczono następującymi symbolami: KA – udźwig, KB – maksymalna wysokość podnoszenia, KC – zdolność pokonywania wzniesień, KD – promień skrętu, KE – prędkość podnoszenia ładunków, KF – maksymalna prędkość jazdy, KG – cena.

Porównanie par kryteriów stanowi w istocie macierz przedstawioną w tabeli 3. Na jej przekątnej wszystkie wyrazy $a_{ii} = 1$, nad przekątną wynik porównań poszczególnych kryteriów, a poniżej wartości odwrotne tych porównań.

Następnie dla poszczególnych kryteriów należy zastosować procedurę wyliczenia wag. Realizuje się to przez zsumowanie wartości ocen w każdej kolumnie i zapisanie tej wartości w dodatkowym wierszu poniżej, a następnie podzielenie każdej oceny w kolumnach od KA do KG przez sumę ocen tej kolumny i nadpisanie wyniku w poszczególnych komórkach. Następnie wagę dla danego kryterium oblicza się poprzez zsumowanie wartości z pól od KA do KG i podzielenie otrzymanej sumy przez liczbę elementów i zapisanie wyniku w polu waga. Wynik takiego postępowania zamieszczono w tabeli 4.

Tabela 4. Obliczenie wag i rankingów poszczególnych kryteriów

Kryteria	KA	KB	KC	KD	KE	KF	KG	WAGA	Ranking
KA	0,25	0,38	0,22	0,36	0,30	0,29	0,16	0,280	1
KB	0,08	0,13	0,13	0,36	0,21	0,29	0,11	0,188	3
KC	0,05	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,07	0,037	7
KD	0,05	0,03	0,09	0,07	0,13	0,21	0,16	0,105	4
KE	0,04	0,03	0,13	0,02	0,04	0,02	0,07	0,049	6
KF	0,04	0,02	0,17	0,01	0,09	0,04	0,11	0,068	5
KG	0,50	0,38	0,22	0,14	0,21	0,13	0,33	0,272	2
Suma	4,02	7,88	23,00	14,03	23,33	23,75	3,07	1,000	

Źródło: Opracowanie własne.

Ustalony w przedstawionej wyżej procedurze ranking ważności poszczególnych kryteriów musi zostać sprawdzony poprzez sprawdzenie wag. Odbywa się to poprzez zsumowanie wag wszystkich kryteriów, co w efekcie powinno dać sumę równą jedności. W celu sprawdzenia, czy wyniki nie naruszają zasady stałości preferencji, należy obliczyć współczynnik niespójności λ_{max} . W istocie współczynnik ten stanowi iloczyn 2 macierzy – jednej, której wierszem jest wiersz suma z tabeli 4 oraz drugiej macierzy, którą stanowi kolumna wag z tabeli 4.

Współczynnik ten wynosi dla omawianego przypadku 8,54. Należy także określić współczynnik:

- zgodności macierzy porównań **CI**;
- stosunek zgodności **CR**.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{r(n-1)} \quad (2)$$

Współczynnik r jest zmienny w zależności od wielkości macierzy, jednak dla macierzy 7-elementowej wynosi 1,32. W tym przypadku wartość CI wynosi 0,25.

$$CR = \frac{CI}{r} = 0,19 \quad (3)$$

Mimo, że zarówno wartość współczynników CI jak i CR przekraczają dopuszczalny instrukcyjnie poziom 0,1, to jednak postanowiono kontynuować obliczenia. Metoda AHP odnosi się do typowych zakupów, w których zależności między poszczególnymi kryteriami są:

- dość sformalizowane i współzależne;
- wynikają najczęściej z empirycznej analizy danych historycznych;
- analizowane hierarchie między poszczególnymi kryteriami są oparte na subiektywnych ocenach osób, które mają się posługiwać tymi środkami transportowymi;
- w ten sposób otrzymane wyniki można potraktować jako próbę losową, a wynik otrzymany w wyniku zastosowania metody AHP jako wynik pomocniczy, nie decydujący, ale uwzględniający oczekiwania użytkowników.

Ponieważ ustalono, że wyżej wymieniona metoda nie może być wiążąca dla wyboru urządzenia, a traktowana może być jedynie jako pomocnicza, to bazując na wagach poszczególnych kryteriów ustalonych w powyższej procedurze obliczyliśmy sumę iloczynów poszczególnych parametrów i wag kryteriów dla każdego wózka widłowego.

Biorąc pod uwagę ocenę użytkownika końcowego w procesie wyboru urządzenia transportowego okazało się, że spośród parametrów istotne są (w kolejności od najważniejszych do najmniej ważnych), tabela 5.

Tabela 5. Podsumowanie wag poszczególnych parametrów

L.p.	Parametr	Waga
1.	Udźwig	0,280
2.	Cena	0,272
3.	Maksymalna wysokość podnoszenia	0,188
4.	Promień skrętu	0,105
5.	Maksymalna prędkość jazdy	0,068
6.	Prędkość podnoszenia ładunków	0,049
7.	Zdolność pokonywania wzniesień	0,037

Źródło: Opracowanie własne.

Na tej podstawie ustalono, że poszczególne wózki widłowe charakteryzują się następującymi wartościami parametrów, tabela 6.

Tabela 6. Porównanie wózków pod względem ich wag

Model	Udźwig [kg]	Cena [zł]	Max. wysokość podnoszenia [mm]	Promień skrętu [m]	Max. Prędkość jazdy [km/h]	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s]	Zdolność pokonywania wzniesień [%]	Suma wag	Miejsce
Linde E20	2000	12400	2800	1,72	12,5	0,5	14,5	4460,8	5
Still RX2015	1600	17200	3230	1,85	16	0,55	12,8	5735,4	2
Hyundai 20DA-7E	2000	15100	3327	2,05	19,5	0,6	26,3	5295,2	3
Toyota 8FGF15	1500	18900	3000	1,99	18,5	0,665	28	6127,3	1
Hangcha CPCD18	1800	13000	3000	2,015	19	0,58	30	4606,6	4
Desta D25	2500	11000	3300	2,37	18	0,5	23	4314,7	6
Waga	0,28	0,272	0,188	0,105	0,068	0,049	0,037		

Źródło: Opracowanie własne.

Z danych zamieszczonych w tabeli 6 wynika, że przy uwzględnieniu zdania użytkowników końcowych urządzeń, najbardziej optymalnym wyborem jest Toyota 8FGF15. Pomimo że ma ona największą cenę, to wartości pozostałych parametrów ją rekompensują. Poza tym należy zaznaczyć, że pracownicy z uwagi na uznanie marki Toyota i jej słynną niezawodność mogli lobbować na rzecz procesu

wyboru oraz dobierać poszczególne kryteria tak, aby finalnie dokonać wyboru wózka tej marki.

Rangowanie wg cechy syntetycznej

Ponieważ użycie metody AHP w tym przypadku obarczone było mniejszym lub większym błędem wynikającym ze związaniem jej z subiektywną oceną użytkowników końcowych, stąd należy wskazać na inną metodę, która będzie mniej podatna na wpływy osób, a bardziej skupi się na obiektywnej analizie ilościowej. Stąd tą metodą dokonano rangowania wg cechy syntetycznej, które charakteryzuje się tym, że finalnie każda cecha jest równie ważna i że z punktu widzenia rangowania nie nadaje się priorytetów pierwotnych dla jakiejś określonej cechy.

W pierwszej kolejności tym, co należy zrobić, to zapoznać się ponownie z parametrami, które determinują wybór poszczególnych wózków oraz określenie, które z tych parametrów są stymulantami, a które destymulantami, tabela 7.

Tabela 7. Porównanie wózków przed rozpoczęciem rangowania

Model	Udźwig [kg]	Max. wysokość podnoszenia [mm]	Zdolność pokonywania wzniesień [%]	Promień skrętu [m]	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s]	Max. Prędkość jazdy [km/h]	Cena [zł]
Linde E20	2000	2800	14,5	1,72	0,5	12,5	12400
Still RX2015	1600	3230	12,8	1,85	0,55	16	17200
Hyundai 20DA-7E	2000	3327	26,3	2,05	0,6	19,5	15100
Toyota 8FGF15	1500	3000	28	1,99	0,665	18,5	18900
Hangcha CPCD18	1800	3000	30	2,015	0,58	19	13000
Desta D25	2500	3300	23	2,37	0,5	18	11000

Źródło: Opracowanie własne.

Stymulanta to cecha, której wartość jest pożądana z punktu widzenia celu rangowania. Destymulanta to cecha, której małe wartości są pożądane. W związku z tym ustalono, że następujące parametry są stymulantami:

- udźwig;
- maksymalna wysokość podnoszenia;
- zdolność pokonywania wzniesień;
- prędkość podnoszenia ładunków;
- maksymalna prędkość jazdy.

Do zbioru destymulant zaliczyć należy:

- cenę;
- promień skrętu.

Aby przeprowadzić dalsze rozważania nad wyborem określonego typu wózka, należy dokonać transformacji destymulant na stymulanty, zgodnie z zależnością:

$$z_{ij} = \max_{i=1,2,\dots,6} \{x_{ij}\} - x_{ij}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, 7. \quad (4)$$

W każdej z kolumn od maksymalnej wartości parametru trzeba będzie odjąć wartości parametrów poszczególnych wózków. Otrzymane wyniki w ten sposób zamieszczono w tabeli 8.

Tabela 8. Wartości liczbowe parametrów po zmianie destymulant na stymulanty

Model	Udźwig [kg]	Max. wysokość podnoszenia [mm]	Max. Prędkość jazdy [km/h]	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s]	Zdolność pokonywania wzniesień [%]	Cena [zł]	Proień skreću [m]
Linde E20	2000	2800	12,5	0,5	14,5	6500	0,65
Still RX2015	1600	3230	16	0,55	12,8	1700	0,52
Hyundai 20DA-7E	2000	3327	19,5	0,6	26,3	3800	0,32
Toyota 8FGF15	1500	3000	18,5	0,665	28	0	0,38
Hangcha CPCD18	1800	3000	19	0,58	30	5900	0,355
Desta D25	2500	3300	18	0,5	23	7900	0

Źródło: Opracowanie własne.

Ponieważ dane mają skrajnie różne wartości poszczególnych parametrów i nie można porównywać ich wprost, stąd trzeba je przekształcić w taki sposób, aby umożliwić ich zestawienie ze sobą. Można tego dokonać poprzez standaryzację lub unitaryzację. Wybrano metodę unitaryzacji jako najbardziej adekwatną dla danych, tak aby utrzymać wyniki poszczególnych parametrów w przedziale liczb dodatnich. Obliczeń dokonano wykorzystując następującą zależność:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (5)$$

Otrzymane wartości po przeprowadzeniu unitaryzacji zamieszczono w tabeli 9.

Tabela 9. Wartości liczbowe parametrów po unitaryzacji

Model	Udźwig [kg]	Max. wysokość podnoszenia [mm]	Max. Prędkość jazdy [km/h]	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s]	Zdolność pokonywania wzniesień [%]	Cena [zł]	Pro-mień skrętu [m]
Linde E20	0,31	0,43	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Still RX2015	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,53	0,00
Hyundai 20DA-7E	0,53	0,88	0,01	0,00	0,01	1,00	0,00
Toyota 8FGF15	0,50	1,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Hangcha CPCD18	0,31	0,51	0,00	0,00	0,01	1,00	0,00
Desta D25	0,32	0,42	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00

Źródło: Opracowanie własne.

Po przeprowadzeniu unitaryzacji przystąpiono do ustalania wag poszczególnych parametrów. Wagi cech ustalone zostały wg współczynnika zmienności, który obliczono wg następującej zależności:

$$v_s^j = \frac{s_j}{m_j}, \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (6)$$

gdzie: s oznacza odchylenie standardowe, a m średnią arytmetyczną.

Tabela 10. Wartości liczbowe współczynnika zmienności

Wartość współczynnika zmienności	Nazwa zmiennej						
	Udźwig [kg]	Max. wysokość podnoszenia [mm]	Max. prędkość jazdy [km/h]	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s]	Zdolność pokonywania wzniesień [%]	Cena [zł]	Pro-mień skrętu [m]
	0,27	0,40	0,44	1,19	0,54	0,55	2,03

Źródło: Opracowanie własne.

Następnie posiadając obliczony współczynnik zmienności każdego parametru możemy obliczyć wagi każdego z nich (uwzględniając zmienność cech) posługując się następującą zależnością:

$$w_j = \frac{v_s^j}{\sum_{j=1}^6 v_s^j}, \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (7)$$

Tabela 11. Wartości wag parametrów

	Udźwig [kg]	Max. wysokość podnoszenia [mm]	Max. prędkość jazdy [km/h]	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s]	Zdolność pokonywania wzniesień [%]	Cena [zł]	Proień skrętu [m]
Wartość współczynnika zmienności	0,27	0,40	0,44	1,19	0,54	0,55	2,03
Waga	0,049	0,074	0,081	0,220	0,099	0,102	0,375

Źródło: Opracowanie własne.

Posiadając wagi poszczególnych parametrów możemy przystąpić do oznaczenia wektora wartości cechy syntetycznej dla każdego wózka widłowego.

Tabela 12. Wartości cechy syntetycznej każdego wózka widłowego

Nazwa cechy	Typ wózka widłowego					
	Linde E20	Still RX2015	Hyundai 20DA-7E	Toyota 8FGF15	Hangcha CPCD18	Desta D25
Ważona suma cech	0,149	0,153	0,193	0,100	0,155	0,149

Źródło: Opracowanie własne.

Ponieważ w początkowej części zadania przystąpiliśmy do przekształcenia destymulant na stymulanty, to najbardziej preferowanym z punktu widzenia analizy ilościowej (a jednocześnie obiektywnie wskazanym) wózkiem widłowym jest Hyundai 20DA-7E. Należy zaznaczyć, że metoda ta jest bardziej obiektywna od zmodyfikowanej metody AHP zastosowanej wcześniej. Przy takim podejściu pozwala na porównanie wszystkich parametrów wózków oraz uwzględnia współczynnik zmienności dla poszczególnych parametrów, a finalnie w postaci sumy ważonej cech daje rozwiązanie optymalne.

Wybór wózka widłowego przy wykorzystaniu metody Bellingera

Metoda Bellingera jest metodą analizy wielokryterialnej, porządkującej obiekty na podstawie łącznej wartości ocen wyznaczonych ze zbioru kryteriów. Ciekawostką jest fakt, że metoda ta była już w praktyce stosowana w Polsce do oceny wiarygodności kredytowej kredytobiorców². Metoda Bellingera polega na ustaleniu ocen wariantów decyzyjnych wszystkich kryteriów, doprowadzeniu do możliwości ich porównania oraz ich agregacji. Dla każdego analizowanego kryterium należy ustalić wariant decyzyjny najbardziej optymalny, oraz najmniej pożądany. Ponadto należy wskazać, czy dany parametr jest destymulantą, czy stymulantą. Zakłada się, że różnica między stanami preferencji i antypreferencji jest pewnego rodzaju drogą. Dzięki temu dla każdego dostępnego wariantu decyzyjnego określa się ocenę względem każdego kryterium jako ułamek tej drogi. Wa-

² Bartosiewicz S. (2015), *Centra logistyczne w aspekcie zrównoważonego rozwoju*, WAT, Warszawa, 226-234.

riantem optymalnym jest taki, którego sumaryczna droga jest najdłuższa, a więc wartość wariantu decyzyjnego ma największą wartość. Przykład zastosowania metody Bellingera przedstawiono w dwóch wariantach:

- **I wariant** – wartości kresów (pożądanych i niepożądanych wartości granicznych) przyjęte zostaną jako skrajne wartości określonych parametrów wózków widłowych;
- **II wariant** – wartości te będą narzucone (hipotetycznie przez ekspertów).

W tabeli 13 zamieszczono parametry poszczególnych wózków widłowych, a w tabeli 14 wartości pożądane i niepożądane kryteriów dla dwóch wariantów. Tabela 15 zawiera przyjęte wagi dla poszczególnych kryteriów.

Tabela 13. Wartości parametrów wózków

Model wózka	Udźwig [kg] – CR1	Max. wysokość podnoszenia [mm] – CR2	Zdolność pokonywania wzniesień [%] – CR3	Promień skrętu [m] – CR4	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s] – CR5	Max. prędkość jazdy [km/h] – CR6	Cena [zł] – CR7
Linde E20	2000	2800	14,5	1,72	0,5	12,5	12400
Still RX2015	1600	3230	12,8	1,85	0,55	16	17200
Hyundai 20DA-7E	2000	3327	26,3	2,05	0,6	19,5	15100
Toyota 8FGF15	1500	3000	28	1,99	0,665	18,5	18900
Hangcha CPCD18	1800	3000	30	2,015	0,58	19	13000
Desta D25	2500	3300	23	2,37	0,5	18	11000

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 14. Pożądany kierunek zmian liczbowych (górną i dolną granicą zmian poszczególnych kryteriów) oraz długość drogi

Wartość kryterium	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7
Pożądana (stymulanta) – Wariant I	2500	3327	30	1,72	0,665	19,5	11000
Niepożądana (destymulanta) – Wariant I	1500	2800	12,8	2,37	0,5	12,5	18900
Długość drogi (odległość od najbardziej do najmniej pożądanego)	1000	527	17,2	0,65	0,165	7	7900
Pożądana (stymulanta) – Wariant II	2700	3500	35	1,5	0,7	20	10000
Niepożądana (destymulanta) – Wariant II	1500	2500	10	2,5	0,4	10	20000
Długość drogi (odległość od najbardziej do najmniej pożądanego)	1200	1000	25	1	0,3	10	10000

Tabela 15. Wagi poszczególnych kryteriów

Wartość kryterium	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7
Waga kryterium	0,2	0,15	0,1	0,1	0,05	0,1	0,3

Źródło: Opracowanie własne.

W dalszej kolejności dla wariantu pierwszego obliczono wartości poszczególnych kryteriów jako procent drogi, czyli różnicy między stanem najbardziej i najmniej pożądanym (tabela 16).

Tabela 16. Wartości kryteriów stanowiące procent drogi między wariantem pożądanym i niepożądanym

Model	Udźwig [kg] – CR1	Max. wysokość podnoszenia [mm] – CR2	Zdolność pokonywania wzniesień [%] – CR3	Promień skrętu [m] – CR4	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s] – CR5	Max. prędkość jazdy [km/h] – CR6	Cena [zł] – CR7
Linde E20	50	0	10	100	0	0	82
Still RX2015	10	82	0	80	30	50	22
Hyundai 20DA-7E	50	100	78	49	61	100	48
Toyota 8FGF15	0	38	88	58	100	86	0
Hangcha CPCD18	30	38	100	55	48	93	75
Desta D25	100	95	59	0	0	79	100

Źródło: Opracowanie własne.

Następnie – stosownie do przyjętych wag dla poszczególnych kryteriów – utworzono wartości kryteriów jako procentu drogi z uwzględnieniem wag, co przedstawia tabela 17. W tabeli tej zamieszczono także sumy ocen łącznych dla poszczególnych wózków widłowych.

Okazało się, że przy wykorzystaniu metody Bellingera optymalnym rozwiązaniem jest wybór wózka Desta D25.

Stosując ten sam mechanizm postępowania ustalono, że w drugim wariantcie w którym wartości brzegowe kryteriów ustalane były odgórnie, otrzymano następujące wyniki (tabela 18).

Tabela 17. Wartości kryteriów stanowiące procent drogi między wariantem pożądanym i niepożądanym przy uwzględnieniu wag poszczególnych kryteriów

Model	Udźwig [kg] – CR1	Max. wysokość podnoszenia [mm] – CR2	Zdolność pokonywania wzniesień [%] – CR3	Proień skrętu [m] – CR4	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s] – CR5	Max. prędkość jazdy [km/h] – CR6	Cena [zł] – CR7	Suma łączna
Linde E20	10,00	0,00	0,99	10,00	0,00	0,00	24,68	45,67
Still RX2015	2,00	12,24	0,00	8,00	1,52	5,00	6,46	35,21
Hyundai 20DA-7E	10,00	15,00	7,85	4,92	3,03	10,00	14,43	65,23
Toyota 8FGF15	0,00	5,69	8,84	5,85	5,00	8,57	0,00	33,95
Hangcha CPCD18	6,00	5,69	10,00	5,46	2,42	9,29	22,41	61,27
Desta D25	20,00	14,23	5,93	0,00	0,00	7,86	30,00	78,02

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 18. Wartości kryteriów stanowiące procent drogi między wariantem pożądanym i niepożądanym przy uwzględnieniu wag poszczególnych kryteriów (wariant II)

Model	Udźwig [kg] – CR1	Max. wysokość podnoszenia [mm] – CR2	Zdolność pokonywania wzniesień [%] – CR3	Proień skrętu [m] – CR4	Prędkość podnoszenia ładunków [m/s] – CR5	Max. prędkość jazdy [km/h] – CR6	Cena [zł] – CR7	Suma łączna
Linde E20	8,33	4,50	1,80	7,80	1,67	2,50	22,80	49,40
Still RX2015	1,67	10,95	1,12	6,50	2,50	5,00	8,40	36,14
Hyundai 20DA-7E	8,33	12,41	6,52	4,50	3,33	10,00	14,70	59,79
Toyota 8FGF15	0,00	7,50	7,20	5,10	4,42	8,57	3,30	36,09
Hangcha CPCD18	5,00	7,50	8,00	4,85	3,00	9,29	21,00	58,64
Desta D25	16,67	12,00	5,20	1,30	1,67	7,86	27,00	71,69

Źródło: Opracowanie własne.

W tym przypadku należy zaznaczyć, że wybrano ten sam wózek widłowy, co w poprzednim wariancie.

Podsumowanie

Zaprezentowany sposób wyboru środków transportu wewnętrznego dla tego przedsiębiorstwa przy wykorzystaniu trzech różnych narzędzi wielokryterialnej analizy porównawczej pokazuje, że każde z tych narzędzi ma swoją specyfikę.

Metoda AHP umożliwia, co prawda, wybór wózka widłowego, ale pozostawienie osobom zainteresowanym umożliwienie wpływu na przyjmowane wartości wag między kryteriami spowodowało – paradoksalnie – wybór najdroższego wóz-

ka. Było to celowe, aby pokazać wadę tej metody i należy traktować raczej jako metodę pomocniczą.

Metoda rangowania wg cechy syntetycznej jest metodą, która ma jedną podstawową przewagę nad metodą AHP, bowiem umożliwiła nam różnicowanie pod względem preferowanych wartości, a więc tego, czy dana cecha jest stymulantą czy też destymulantą. Ponieważ wartości liczbowe poszczególnych kryteriów nie miały wspólnych jednostek, ani też nie mieściły się w podobnym zakresie liczbowym, to pomocna okazała się unitaryzacja wartości, która doprowadziła wartości każdego z kryterium z osobna do przedziału z zakresu $<0,1>$, co znacznie ułatwiło ich porównywanie między sobą.

Metoda Bellingera jest tą metodą, która pozwala ustalić wartości preferowanych oraz niepożądanych dla poszczególnych kryteriów, a także przypisanie im określonych wartości wag.

Należy podkreślić, że każda z zastosowanych metod dała oczekiwane rozwiązanie, co wskazuje, że przy dokonywaniu wyboru metody, należy bardziej precyzyjnie poddać analizie kryteria będące przedmiotem ich wyboru oraz cel, jaki chce się osiągnąć. Dopiero wtedy powinno się przystąpić do praktycznego jej zastosowania.

Bibliografia

- Afshari A., Mojahed M., Yusuff R., (2010), *Simple Additive Weighting approach to Personnel Selection problem*, International Journal of Innovation, Management and Technology.
- Bartosiewicz S., Oziębło M., (2016), *Wybór lokalizacji przedsiębiorstwa produkcyjnego*, [w:] Mazurek Kucharska B., Dębski M., (red.), *Zarządzanie małych i średnich przedsiębiorstw w Polsce. Innowacyjna strategia, narzędzia i wdrożenia*, Przedsiębiorczość i Zarządzanie, Wydawnictwo SAN, Łódź-Warszawa, Tom XVII, Zeszyt 7, Część II.
- Bartosiewicz S., Oziębło M., (2015), *Innowacyjne podejście procesowe w gospodarce magazynowej branżowego centrum logistycznego*, [w:] E. Gołębiowska, *Zarządzanie – nowe perspektywy. Heurystyczne podejście do innowacyjności*, Tom XVI, Zeszyt 11, Część 1, wyd. Przedsiębiorczość i Zarządzanie, Łódź.
- Bartosiewicz S., (2015), *Assessment of the warehouse management in an industry logistics centre using indexing methods*, Gospodarka materiałowa & Logistyka, Wydawnictwo PWE, Warszawa.
- Bartosiewicz S., (2015), *Centra logistyczne w aspekcie zrównoważonego rozwoju*, WAT, Warszawa.
- Dudziński Z., Kizyn M., (2002), *Vademecum gospodarki magazynowej*, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk.
- Geneletti D., (2005), *Multicriteria analysis to compare the impact of alternative road corridors: a case study in northern Italy*, Impact Assessment and Project Appraisal.
- Kukułka A., (2016), *Siedmiokryterialny miernik oceny niepotokowych procesów produkcyjnych*, IV naukowe warsztaty dla doktorantów w dyscyplinie inżynierii produkcji, Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko Biała.

- Kukułka A., Wirkus M., (2016), *Zagadnienie opracowania i stosowania wielokryterialnego miernika oceny przebiegu procesu niepotokowego*, [w:] Knosala R., (red.), *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole.
- Niemczyk A., (2008), *Zapasy i magazynowanie*, t.II, Wydawnictwo ILiM, Poznań.
- Nowak M., (2008), *Interaktywne wielokryterialne wspomaganie decyzji w warunkach ryzyka. Metody i zastosowania*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice.
- Opricovic S., Tzeng G.H., (2004), *Compromise solution by MCDM methods, A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS*. European Journal of Operational Research.
- Saaty T.L., (1980), *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.
- Skorupka D., Duchaczek A., Szleszyński A., *Optymalizacja doboru środków transportowych w logistyce magazynowej materiałów budowlanych*, nr 4/2012, Zeszyty Naukowe WSOWL.
- Szwabowski J., Deszcz J., (2001), *Metody wielokryterialnej analizy porównawczej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Tzeng G.H., Huang J.J., (2011), *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications*, CRC Press, London.
- Trzaskalik T., (2014), *Wielokryterialne wspomaganie decyzji metody i zastosowanie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Twaróg J., (2003), *Mierniki i wskaźniki logistyczne*, Wydawnictwo ILiM, Poznań.
- Żurek J., Ciszak O., Cieślak R., Suszyński M., (2011), *Ocena i wybór roboty przemysłowego metodą AHP*, Komisja Budowy Maszyn PAN, Poznań.